Calcul de la résistance à la fatigue de la fonte nodulaire

18 septembre 2015, 02:00

Kurt Beghyn

Des formules simples permettent d'évaluer avec précision la limite d'endurance de la fonte nodulaire en se fondant sur sa résistance à la traction. Cette possibilité est intéressante car, dans la pratique, la limite d'endurance détermine la longévité d'un composant.

On utilise la fonte nodulaire pour de nombreux composants pour lesquels la sécurité est importante. Comme la majorité des structures finissent par lâcher suite à la fatigue, il est plus intéressant de connaître la résistance à la fatigue que les propriétés mécaniques statiques, comme la résistance à la traction ou limite d'élasticité. La limite d'endurance ($?_A$ 'endurance limit') est déduite d'une courbe de Wöhler. Cette courbe de Wöhler établit une relation entre la contrainte admissible et le nombre de cycle jusqu'à la rupture. Malheureusement, l'installation d'une courbe de Wöhler est une procédure fastidieuse car il faut soumettre à des essais plusieurs éprouvettes, parfois jusqu'à 10 millions de cycles.



Courbe de Wöhler pour l'acier et la fonte (représentation schématique, rapport de contrainte R).

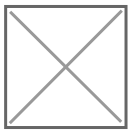
Calcul relativement simple

Pour contourner la procédure fastidieuse pour une démonstration de la courbe de Wöhler, on s'efforce depuis les premiers essais d'endurance Wöhler (il y a 140 ans) de déduire la courbe à partir de propriétés mécaniques statiques. Récemment, des chercheurs allemand [1] ont mis au point plusieurs équations pour la fonte nodulaire permettant de calculer de façon relativement simple les valeurs $?_A$ et N_A.

La limite d'endurance $?_A$ est obtenue avec



Où R_m est la résistance à la traction, R le rapport de contrainte (charge min./charge max. pendant la contrainte cyclique) et M la sensibilité à la charge moyenne de l'alliage. En dehors de M, l'équation ci-dessus ne contient pas de constantes spécifiques au matériau. Pour la fonte nodulaire, les auteurs donnent



Enfin, pour le nombre de cycles N_A, on obtient



où E est le module d'élasticité.

On a contrôlé le modèle ci-dessus à l'aide des essais de résistance à la fatigue de Wöhler publiés par Stets et Sobota [2]. Le graphique ci-dessous donne un exemple de recherche sur la courbe de Wöhler pour la fonte nodulaire ferritique.



(Cliquez pour agrandir)

Stets et Sobota n'ont pas seulement étudié entièrement la fonte nodulaire, mais aussi des matériaux avec différents défauts, comme illustré dans le tableau ci-dessous.

No	Material	R_m, MPa
1	SGI-400 WB, base material	385
2	SGI-400 GZ, base material	401
3	SGI-700 GZ, base material	678
4	SGI-400, reduced nodularity (61%)	421
5	SGI-400 WB, 1.0% intercellular graphite	387
6	SGI-400 WB, 1.2% intercellular graphite	398
7	SGI-700, 1.3% intercellular graphite	650

8	SGI-400, with cell border carbides	401
9	SGI-700, with cell border carbides	618

Pour le module d'élasticité E, les auteurs [1] ont pris 170 GPa comme valeur, ce qui est plausible, du fait que cette valeur varie seulement entre 169 et 176 GPa [3] pour la fonte nodulaire. Conformément aux mesures [2], on a pris R -1. L'application des équations donne les valeurs ci-dessous (valeur mesurée / *valeur calculée*) pour la fonte nodulaire. Pour la limite de résistance $?_A$, la correspondance est très bonne, la différence est plus grande avec N_A. Un des grands avantages des formules vient du fait que la limite de résistance peut être calculée non seulement pour des pièces de fonte nodulaire saines, mais aussi que le calcul reste valable quand la fonte présente des défauts.

No	N_A, 10^6	$?_A$, MPa
1	3.6 / *3.0*	171 / *172*
2	3.6 / *2.5*	182 / *179*
3	2.6 / *0.3*	234 / *235*
4	1.2 / *2.1*	194 / *182*
5	5.5 / *2.9*	175 / *173*
6	1.8 / *2.6*	185 / *174*
7	1.1 / *0.4*	241 / *235*
8	2.3 / *2.5*	174 / *173*
9	0.8 / *0.5*	219 / *227*

Sources

[1] H. Stroppe, R. Bähr, "Calculating the fatigue strength of ductile iron from tensile tests" Int. Foundry Research, no. 1, 2015, 10-12.

[2] W. Stets, A. Sobota, "Einfluss von Gefügeabweichungen auf die Werkstoffeigenschaften von Gussteilen mit Kugelgraphit" Giesserei, vol. 93, 2006, no. 4, p. 26-46.

[3] European Standard EN 1563 "Founding - Spheroidal graphite irons"

Auteurs



Kurt Beghyn